



Precipitación de Au vinculada a materia orgánica, Sistema vetiforme Armadillo, Mina Don Nicolás, Macizo del Deseado

Facundo DE MARTINO^{1,2}, Sebastián JOVIC^{1,2}, Horacio ECHEVESTE¹, Mario TESSONE¹ y Diego PALMA^{2,3}

¹ Instituto de Recursos Minerales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

³ YPF Tecnología, Berisso, Buenos Aires.

E-mail: facundodemartino@fcnym.unlp.edu.ar

Editor: xxxx

Recibido: 12 de diciembre, 2019

Aceptado: 26 de marzo, 2020

RESUMEN

Se ha registrado un vínculo entre la materia orgánica y la presencia de oro en el sistema de vetas Armadillo, distrito Martinetas, perteneciente a la Minera Don Nicolás, Santa Cruz, Argentina. Esta relación es novedosa en el sector oriental de la provincia geológica del Macizo del Deseado, conformando un descubrimiento que revela una potencial herramienta exploratoria para la región.

Palabras clave: *kerógenos, oro, exploración.*

ABSTRACT

Au precipitation linked to organic matter. Armadillo vein system, Don Nicolás mine, Deseado Massif.

A link between organic matter and the presence of gold has been registered in the Armadillo vein system, Martinetas district, belonging to Minera Don Nicolás, Santa Cruz, Argentina. This relationship is novel in the eastern sector of the geological province of Deseado Massif, forming a discovery that reveals a potential exploration tool for the region.

Keywords: *kerogens, gold, exploration.*

INTRODUCCIÓN

La asociación de la materia orgánica con depósitos minerales, ganga y roca de caja en depósitos hidrotermales de baja (<120°) y moderada (120-350°) temperatura, es un fenómeno muy estudiado y reconocido desde comienzos del siglo XX (Harder 1919, Schneiderholm 1923, Saxby 1976, Campbell 1993, Parnell et al. 1993, Giordano 1996, Leventhal y Giordano 1997, Gize 1999, Kettler 2000, Pirajno 2009). Durante la diagénesis los biopolímeros (proteínas, lípidos, carbohidratos

y ligninos) sintetizados por plantas y animales son destruidos por la actividad microbiana y convertidos progresivamente en estructuras policondensadas conocidas como geopolímeros, los cuáles constituyen el precursor del kerógeno (Tissot y Welte 1984).

El kerógeno es la fracción orgánica insoluble en disolventes orgánicos y, de acuerdo a su origen, se diferencia en tres tipos. El kerógeno tipo I proviene de materia algácea, el tipo II procede principalmente de restos de plancton re-elaborados por bacterias y el tipo III, de plantas terrestres.

Los kerógenos y sus derivados (bitumen, pirobitumen)

pueden actuar de diferentes formas en la formación de un depósito metalífero. La materia orgánica y sus derivados pueden tener seis roles activos en los procesos que forman o preservan depósitos metalíferos (Leventhal y Giordano 1997). Estos pueden ser: 1- movilización (cuando la fuente de los metales se vinculan a rocas superficiales y ambientes sedimentarios, las anomalías se asocian a materia orgánica disuelta), 2-transporte (por complejos orgánicos de metales en agua subterránea y fluidos hidrotermales), 3- concentración (los metales en el depósito están mejor correlacionados con la materia orgánica que con los sulfuros), 4-reducción (hay materia orgánica parcialmente oxidada y tanto los metales como los sulfuros se correlacionan con las concentraciones de la materia orgánica, el kerógeno autóctono puede servir como reductor para los metales y sulfatos), 5- oxidación (por actividad de microorganismos), 6-preservación (granos de minerales rodeados o cubiertos por materia orgánica micro o macroscópica). Teniendo en cuenta esto, la materia orgánica que juega algún rol en la génesis de un depósito puede ser usada como una herramienta exploratoria (Levinson 1974, Rose et al. 1979, Carlisle et al. 1986, Landis y Hofstra 1991, Brooks et al. 1995, Leventhal y Giordano 1997).

Dentro del sistema de vetas Armadillo (Mina Don Nicolás, Santa Cruz) se ha registrado la precipitación de oro por procesos de reducción vinculado a la presencia de kerógenos de tipo III en pulsos silíceos formadores de las vetas.

El objetivo de esta contribución es mostrar la relación entre la precipitación de Au y la materia orgánica, la cual representa la primera mención en depósitos epitermales de la provincia auroargentífera del Deseado (Schalamuk et al. 1999), conformando un descubrimiento que revela una potencial herramienta exploratoria para la región.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Con el fin de establecer eventos y pulsos mineralizantes en el sistema de vetas Armadillo, se seleccionaron testigos corona en secciones transversales a las vetas cada 40 m, sumando más de 2000 m de intercepto de vetas y roca de caja. Dichos tramos, fueron analizados en detalle a partir de la caracterización mineralógica y textural de los pulsos mineralizantes, tanto en muestras de mano como en secciones delgadas, examinadas en el laboratorio petrográfico del Instituto de Recursos Minerales mediante el uso de un Microscopio Olympus modelo BX53 equipado con una cámara digital Olympus modelo UC-30. Sobre la base de este análisis, los pulsos se agruparon en eventos mineralizantes, mientras que

la relación de corte entre ellos permitió establecer su cronología.

Los análisis de minerales en las muestras pulidas fueron realizados en la Universidad de Granada, España, con una Microsonda de electrones CAMECA, equipada con cinco espectrómetros dispersores de longitud de onda de rayos X, un espectrómetro dispersor de energía, seis detectores de electrones absorbidos, secundarios y retrodispersados y un detector de catodoluminiscencia.

La presencia de materia orgánica fue determinada a partir de espectrometría Raman en un microscopio Jasco modelo NRS-4100. Los macerales constituyentes de la materia orgánica (kerógenos) fueron determinados a partir de su análisis bajo microscopio con luz reflejada e inmersión en aceite. Ambos análisis se realizaron en el Laboratorio de microscopía y espectrometría Raman, perteneciente a YPF Tecnología.

SISTEMA VETIFORME ARMADILLO

Mineralización

El sistema vetiforme Armadillo se ubica en el distrito Martinetas, sector nororiental del Macizo del Deseado, a 220 km de la ciudad de Puerto Deseado y a 40 km de la localidad de Tres Cerros, Santa Cruz, Argentina. Este sector forma parte del área operativa de la Minera Don Nicolás y se encuentran en explotación desde el año 2015. En la actualidad, la mina cuenta con una producción anual de 50000 onzas de oro al año y reservas por 177100 onzas de oro y 460800 onzas de plata.

La geología del Pit Armadillo comprende como unidad más antigua una Secuencia Hidromagmática estratificada, conformada por dos facies piroclásticas de entre 1 y 15 cm de potencia que se intercalan: la primera corresponde a un flujo piroclástico masivo, interpretado como un PDC denso, la segunda presenta estructuras tractivas (estratificación paralela, entrecruzada y en artesa) con estructuras aisladas de impacto de balísticos, interpretada como un PDC diluido. Dicha unidad se caracteriza por presentar abundante cantidad de restos carbonosos de origen vegetal, tanto como clastos incorporados durante el avance del flujo, como balísticos, evidenciando la cercanía al centro volcánico y la posible presencia de abundante cantidad de árboles en el medio durante la erupción. Luego, la secuencia hidromagmática es intruída por dos cuerpos subvolcánicos: un criptodomo de composición riodacítica y un dique andesítico más joven (De Martino et al. 2017). El sistema de vetas Armadillo se hospeda en las tres unidades citadas y desarrolla las estructuras más potentes

(hasta 3 metros) en el criptodomo riódacítico, mientras que en la secuencia hidromagmática y en la andesita se presenta como vetillas subparalelas, stockwork o como brechas con cemento silíceo. Este sistema comprende vetas de cuarzo de rumbo ONO-ESE, subverticales o con fuerte (70°-90°) inclinación hacia el norte. A ellas se asocian vetillas menores tipo sheeted vein o vetillas subparalelas (De Martino et al. 2018).

En estas vetas se han definido cinco pulsos agrupados en tres eventos (Fig. 1a y c):

Evento 1 -Hidrotermal-silíceo: Pulso 1: Corresponde a cuarzo microcristalino a fino de textura lattice bladed, en ocasiones masiva, reemplazando a la roca de caja y en ocasiones brechando a la misma (Fig. 1b). Pulso 2: Posee una textura bandeada del tipo coloforme fino, con bandas calcedónicas de coloraciones grises y blancas. En ocasiones presenta una textura masiva o se encuentra como cemento de brechas que contienen clastos del pulso 1 (Fig. 1a).

Evento 2 - Hidrotermal-silíceo con materia orgánica (Evento mineralizante): Pulso 3: Es un bandeo coloforme de cuarzo microcristalino, con alternancia de bandas de cuarzo fino, sílice amorfa con pequeños cristales de adularia (10 µm) de hábito rómbico o tabular y bandas negras (Fig. 1a y b). Estas últimas contienen materia orgánica, generalmente asociada a oro nativo, observado tanto en microscopio con luz reflejada (Fig. 1d) como determinado con espectrometría Raman (Fig. 1e). En ocasiones se reconoce la presencia de pirita de grano fino (10 µm) y óxidos. Las altas leyes de Au (>100 ppm) se asocian principalmente a este pulso. Pulso 4: Brecha silícea de cuarzo microcristalino con presencia de pirita y oro nativo como parches. Presenta anomalías de Au y Ag (tramos con hasta 100 ppm) cuando corta el pulso 3.

En este evento mineralizante se reconoció, que la mena mineral está restringida al pulso 3, con presencia de materia orgánica. Dicha mena incluye oro nativo, plata nativa y electrum, asociados con agregados de limonita.

Evento 3 - Tectónico-hidrotermal con óxidos: Pulso 5: Se define como una brecha tectono-hidrotermal. Posee tanto clastos de roca de caja como de los pulsos anteriores, cuyos tamaños varían entre 1 y 15 mm y abundante matriz de color anaranjada, ferruginosa y silicificada. Los tramos que presentan este pulso sólo traen anomalías de Au cuando posee abundantes clastos del evento 2.

Materia orgánica

Se determinó, que los macerales constituyentes de la materia orgánica presente en el pulso 3 corresponden a vitrinita e inertinita (Fig. 1f). Los macerales de vitrinita son derivados de tejidos parenquimatosos y leñosos de raíces, tallos, cortezas

y hojas compuestas de celulosa y lignina (ICCOP 1998). Por su parte, la inertinita se considera derivada de material vegetal que ha sido fuertemente alterado y degradado en condiciones oxidantes (Falcon y Snyman 1986), que muchos autores asocian a incendios forestales (Cope y Chaloner 1985, Guo y Bustin 1998, Glasspool 2000) u oxidación subaérea. Esto último puede ser evidencia de una carbonización previa o durante la depositación de la unidad que contiene a los restos vegetales. El kerógeno en las vetas de Armadillo podrían estar asociados genéticamente a un evento piroclástico causante de la carbonización de los restos vegetales, representado por los depósitos de la Secuencia Hidromagmática con restos carbonosos, presente en el sector Armadillo (De Martino et al. 2017).

CONSIDERACIONES FINALES

Dado que existe una correlación entre los valores anómalos de oro en los pulsos 3 y 4 y la concentración de materia orgánica dentro de estos pulsos, se interpreta una relación entre la precipitación de los metales preciosos y la materia orgánica. El kerógeno sería uno de los responsables directos (fijación del Au por parte del lignito) o indirectos (reducción por bacterias o termoquímicamente inducido por cambios en el Eh y pH del fluido por parte de la materia orgánica) de la precipitación del oro (Leventhal y Giordano 1997). Esto supondría el paso del fluido hidrotermal por niveles carbonosos (secuencia hidromagmática) y captación de los kerógenos que ellos contienen, causando la posterior reducción y precipitación del metal.

La vinculación de la precipitación del Au con la materia orgánica en el sistema de vetas Armadillo es comparable con los depósitos world class de Suyai, en Esquel, Chubut (Blesa 2004), McLaughlin, California, USA (Sherlock y Lehrman 1995) y Creede, Colorado, USA (Larsen y Crossey 1996), los que también muestran alguna relación entre la precipitación de Au y materia orgánica.

Esta vinculación presente en las vetas de Armadillo representa la primera mención en depósitos epitermales de la provincia auroargentífera del Macizo del Deseado, conformando un descubrimiento que revela una potencial herramienta exploratoria para otros depósitos con similares características litológicas y de mineralización en la región.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Minera Don Nicolás S.A., por haber brindado información de relevancia y haber permitido la publicación de

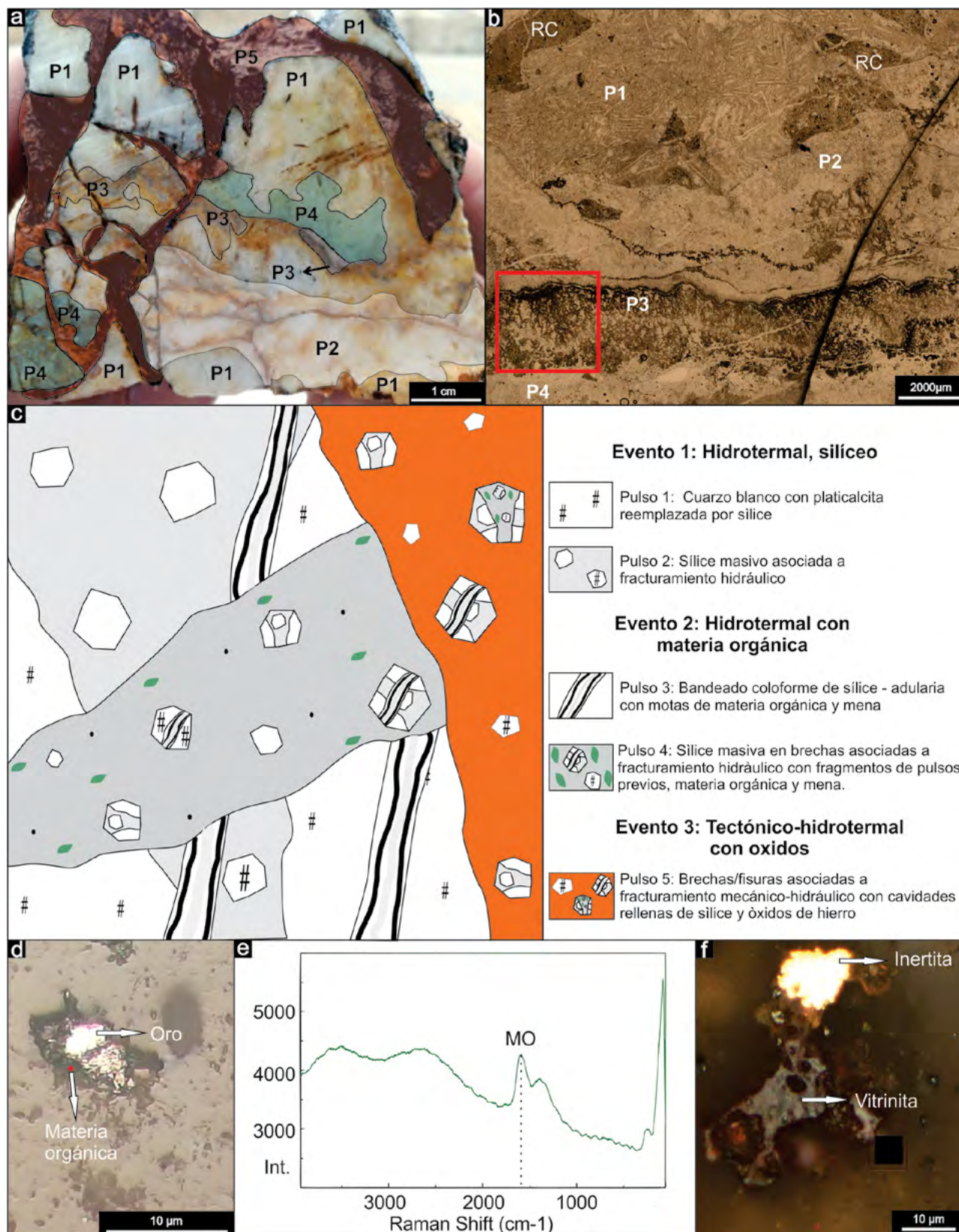


Figura 1. a) Fotografía de muestra de mano, donde se observa la relación de corte de los pulsos; b) Fotomicrografía de corte delgado sin cruzar nicolas, donde se observa la relación de corte entre los pulsos y bandas negras correspondientes a materia orgánica presentes en el pulso 3. En recuadro rojo se observa el sector donde se hicieron los análisis en detalle de las figuras d), e) y f); c) Esquema de relaciones de corte entre los diferentes pulsos hidrotermales presentes en las estructuras mineralizadas; d) Fotomicrografía de muestra calcográfica bajo microscopio con luz reflejada donde se observa el oro rodeado de un material de color negro, el punto rojo indica el sector donde se realizó la lectura con espectrometría Raman; e) Signatura espectral de espectrometría Raman, indicando la presencia de materia orgánica (MO); f) Vitrinita e inertinita observada en el pulso 3 bajo microscopio de luz reflejada e inmersión en aceite.

los resultados de este trabajo. Al Dr. Raúl E. de Barrio por facilitar el análisis de Microsonda de electrones realizada en la Universidad de Granada.

REFERENCIAS

- Blesa, A. 2004. Geology and mineralization of the Esquel area, Patagonia, Argentina. Master Sciences Thesis, Colorado School of Mines (inedita), 195 p, Boulder.
- Brooks, R.R., Dunn, C.E. y Hall, G.E.M. 1995. Biological Systems in Mineral Exploration and Processing. Ellis Horwood, 538 p., London.
- Campbell, W.R. 1993. Research drilling into the Creede epithermal vein system, San Juan Mountains, Colorado. Society of Economic Geologists Newsletter 13: 1, 12-16.
- Carlisle, D., Berry, W.L., Kaplan, I.R. y Watterson, J.R. 1986. Mineral Exploration: Biological Systems and Organic Matter. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 465 p., New Jersey.
- Cope, M.J. y Chaloner, W.G. 1985. Wildfire, an interaction Of biological and physical processes. En: Tiffney, B.H. (ed.), Geological Factors and the Evolution of Plants. Yale University, 257-277, Hartford.
- De Martino, F.J., Echeveste, H. J., Jovic, S. M. y Tessone, M.O., 2017. Estratigrafía volcánica bimodal de los proyectos Martinetas y Microondas, sector oriental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. XX Congreso Geológico Argentino, Actas ST9: 34-38, San Miguel de Tucumán.
- De Martino, F. J., Echeveste, H. J., Jovic, S.M., Tessone, M.O., Ruiz, R., De Barrio, R.E. y Franco S. 2018. Evolution of mineralizing events in the armadillo vein epithermal system, Martinetas district, eastern Deseado Massif, Santa Cruz, Argentina. 15th Quadrennial IAGOD Symposium, Symposium Proceedings, A-11: 31-32, Salta.
- Falcon, R. y Snyman, C. 1986. An introduction to Coal Petrology: Atlas of Petrographic Constituents in the Bituminous Coals of Southern Africa. The Geological Society of South Africa. Review paper 2: 9-13.
- Glasspool, I.J. 2000. Megaspores from the Late Permian, Lower Whybrow coal seam, Sydney Basin, Australia. Review of Palaeobotany and Palynology 110: 209-227.
- Giordano, T.H. 1996. Special issue on organics and ore deposits: Ore Geology Reviews 11(1-3): 173.
- Gize, A. 1999. Organic alteration in hydrothermal sulfide ore deposits: Economic Geology 94: 967-980.
- Guo, Y. y Bustin, R.M. 1998. Micro-FTIR spectroscopy of liptinite macerals in coal. International Journal of Coal Petrology 36: 259-275.
- Harder, E.C. 1919. Iron-depositing bacteria and their geologic relations: U.S. Geological Survey Professional Paper 113: 89 p.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) 1998. The new vitrinite classification (ICCP system 1994). Fuel 77: 349-358.
- Kettler, R.M. 2000. The interaction of organic matter and fluids during the genesis of some precious metal and volcanogenic massive sulfide deposits: Reviews in Economic Geology 9: 301-313.
- Landis, G.P. y Hofstra, A.H. 1991. Fluid inclusion gas chemistry as a potential minerals exploration tool: Case studies from Creede, CO, Jerritt Canyon, NV, Coeur d' Alene district, ID and MT, southern Alaska mesothermal veins, and mid-continent MVT's. Journal of Geochemical Exploration 42: 25-59.
- Larsen, D. y Crossey, L. 1996. Depositional environments and paleolimnology at an ancient caldera lake: Oligocene Creede Formation, Colorado. Geological Society of America Bulletin 108: 526-544.
- Leventhal, A.G. y Giordano, T.H. 1997. The Nature and Roles of Organic Matter Associated with Ores and Ore-Forming Systems: An Introduction. En: Giordano, T.H., Kettler, R.M. y Wood, S.A. (eds.), Ore Genesis and Exploration: The Roles of Organic Matter. Reviews In Economic Geology 9: 1-26, Littleton.
- Levinson A.A. 1974. Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publishing Ltd., 924 p., Wilmette.
- Parnell, J., Hucha, H. y Landais, P. 1993. Bitumens in ore deposits. Springer, 520 p. New York.
- Pirajno, F. 2009. Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Springer, 1250 p., New York.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. y Webb, J.S. 1979. Geochemistry in Mineral Exploration. Academic Press, 657 p., New York.
- Saxby, J.D. 1976. Significance of organic matter in ore genesis. En: Wolf, K.H. (ed.), Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits 2. Elsevier, 112-133, Amsterdam.
- Schalamuk, I., De Barrio, R., Zubia, M., Genini, A. y Echeveste, H. 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. En: Zappettini, E. (ed.), Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, 1177-1188, Buenos Aires.
- Schneiderholm, H. 1923. Chalcographische untersuchung des Mansfelder kupferschiefers: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie 47: 1-38.
- Sherlock, R.L. y Lehrman, N.J. 1995. Occurrences of dendritic gold at the McLaughlin mine hot-spring deposit. Mineralium Deposita 30: 323-327.
- Tissot, R.P. y Welte, D.H. 1984. Petroleum Formation and Occurrence. Springer, 699 p, Berlin Heidelberg.